第39卷 第6期
2022年11月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 39 No. 6
Nov. 2022

阿尔泰山东部林区森林种群结构和空间分布格局

徐 俏[1,2]，赵万羽[2]，魏 岩[1]，叶 茂[3]，赵新风[2]

（1. 新疆农业大学草业学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011；3. 新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆 乌鲁木齐 830054）

摘 要：以新疆阿尔泰山富蕴林区乔木为研究对象，利用设置典型样带进行样方调查的方法，分析阿尔泰山东部林区的树种组成和优势种径级结构、不同龄林的生境特征及空间分布格局。结果表明：(1) 西伯利亚云杉（*Picea obovata*）、西伯利亚落叶松（*Larix sibirica*）、疣枝桦（*Betula pendula*）和欧洲山杨（*Populus tremula*）为富蕴林区的优势种，个体数量占总数量的99.99%，稀有种和偶见种占总物种的0.013%；(2) 优势种的径级结构与所有乔木的径级结构相似，近似于倒"U"型，以中径级个体居多；(3) 从物种分布与环境因子的关系来看，海拔和坡向的影响较大，与土层厚度的关系不明显；(4) 4个树种的空间分布格局均为集群分布，按照龄组划分，其幼龄林均为均匀分布。不同林龄树种的空间分布格局是天然森林树种长期适应环境条件变化而形成，反映出这一区域森林树种动态变化、森林物种之间的竞争扩散及与环境之间的关系，可为本区域森林保护和管理提供参考。

关键词：西伯利亚落叶松；西伯利亚云杉；径级结构；空间分布格局；生境特征；阿尔泰山

森林种群结构和空间分布格局是森林不同发育阶段构成和一个种群内个体间在空间中的分布规律，反映森林群落的发展趋势和种群个体在水平空间上的相互关系[1]。森林种群的空间结构是在长期对环境的适应中形成的，受林种生物学特性、林种结构、更新方式、人类扰动以及森林群落内的环境共同影响，研究森林物种空间分布格局可以了解某个物种及其生长阶段的空间形态、竞争态势及群落的动态变化过程[2]，对明确种群的生态特征、群落的稳定性及森林生态系统的维持具有重要意义[3]。

地处亚洲干旱内陆的寒温型针叶林树种西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉，是阿勒泰山东部林区内较为稳定的森林植被物种，对我国西北部区域涵养水源、防风固沙[4-6]及生态系统功能的维持起着重要的作用[7]。阿尔泰山东部的富蕴林区森林种类较为单一，寒温针叶林占据阿尔泰山森林带的主体，森林带的下沿有部分阔叶林或针阔混交林出现，这一森林分布特点显示出区域的寒性和旱型特征[8]。以往以落叶松为研究对象的成果颇多，主要集中在碳储量与生产力[9]、树高–胸径模型[10]、树干半径变化特征[11]、生态位特征[12]等方面，针对云杉多集中在性状多样性研究[13]、林分结构与物种多样性[14]、林生物量[15]等方面，对于桦树（Betula）和杨树（Populus）的空间结构分析主要集中在杨桦林[16]、杨桦次生林[17]、落叶松–桦木混交林[18]等方面。这些研究多集中在纯林或混交林生态学特征，也有一些种群更新方面的描述分析。然而，有关该区域林种的生境特征和空间分布格局以及二者之间的联系的系统研究较缺乏。鉴于此，本研究通过野外大样本详细调查，分析阿尔泰山富蕴林区的树种组成、树木径级结构、不同龄林不同树种的生境特征及优势种空间分布，旨在深入分析西伯利亚落叶松等乔木的空间分布格局、成因及与生境间的相互作用关系，为西部寒旱区森林生态系统保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿尔泰山富蕴林区位于新疆北部的阿勒泰地区富蕴县北部，地处阿尔泰山中东段，北部和东北

收稿日期：2022-04-27；**修订日期**：2022-06-02
基金项目：横向项目"阿尔泰山生态保护管理规划"和"阿尔泰山西伯利亚落叶松保护与修复关键技术研究"共同资助
作者简介：徐俏（1994-），女，博士研究生，主要从事恢复生态学研究. E-mail: 15739036377@sina.cn
通讯作者：赵万羽. E-mail: wanyuzhao@ms.xjb.ac.cn

部与蒙古国接壤，西部以卓尔特河为界，南部与富蕴县农区接壤。地理坐标为47°00′~48°00′N，88°30′~90°05′E之间，东西长约124 km，南北宽约112 km，林区总面积744609.37 hm²。该区域是额尔齐斯河发源地，分布有重要的源头河，分别是东部的库依尔特斯河、中部的喀依尔特斯河和西部的库尔木图河及卓尔特河。研究区处于阿尔泰山高中山气候带，年平均气温-2.0 ℃以下，年降水量300 mm以上。林区土壤以山地灰色森林土为主，主要建群种为西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉等。

1.2 研究方法

（1）样地设置与调查内容

根据研究区森林分布特点，选取东、中、西沿3条主要源头河方向（库依尔斯特河、喀依尔特斯河、库尔木图河）及中西部间的森林密集分布的典型区域，设置4条从低海拔到高海拔的垂直样带。每条样带从海拔1000 m在道路旁50~100 m设置第一个10 m×10 m样方，随海拔每升高50 m设置一个相同大小样方直至3500 m，4条样带共设置200个样方覆盖整个富蕴林区。对样方内所有乔木进行调查，记录样方内的物种名称、物种数、胸径、树高、冠幅等数据，同时记录每个样地的海拔、土壤厚度（样方内随机3个点的平均值）、坡度、坡向、坡位等信息。

（2）林分等级和坡各类要素划分

根据不同乔木的生长情况及胸径和树高特点综合划分龄级[19-22]，具体分为：幼龄林Ⅰ（小于60 a）、中龄林Ⅱ（60~100 a）、近熟林Ⅲ（100~120 a）、成熟林Ⅳ（120~160 a）和过熟林Ⅴ（大于160 a）5个阶段[23-25]。

样地的坡向按照北、东北、东、东南、南、西南、西和西北，标记为N、NE、E、SE、S、SW、W和NW。坡位分为：脊、上、中、下、谷和平地，标记为A、B、C、D、E和F。坡度按照缓急程度分为：平（0~5°）、缓（6°~15°）、斜（16°~25°）、陡（26°~35°）、急（36°~45°）和险（46°以上）[26-29]，标记为1、2、3、4、5和6。

（3）数据处理方法

采用统计软件SPSS 21.0、Excel 2020对相关指标进行均值检验、方差分析，使用Origin 2019进行绘图。

植物种群重要值选取相对高度、相对胸径和相对多度3个植物特征值[30]，具体计算如下：

重要值（%）=（相对高度+相对胸径+相对多度）/3

种群空间分布格局采用最常用的指标：方差/平均数比率[2-3]，即V/m。其中，

$$m=\frac{\sum fx}{n} \quad (1)$$

$$V=\frac{\sum (fx)^2-\left[\left(\sum fx\right)^2/n\right]}{n-1} \quad (2)$$

式中：x为样方中某种个体数；f为含x个体样方的出现频率；n为样本总数。当$V/m=1$，为随机分布；$V/m<1$为均匀分布；$V/m>1$为集群分布。

聚集强度用丛生指数（I）、负二项式参数（K）来衡量，具体计算公式：

$$丛生指数(I):\ I=(V/m)-1 \quad (3)$$

$$负二项参数(K):\ K=m^2/(V-m) \quad (4)$$

K值越大，聚集强度越大[31]。

2 结果与分析

2.1 富蕴林区不同树种及群落基本特征

研究区共有乔木6种，为西伯利亚云杉、西伯利亚落叶松、疣枝桦、欧洲山杨、榆树（*Ulmus pumila*）和柳树（*Salix babylonica*）。200个样地内乔木共14928株，平均密度为4988株·hm²。西伯利亚云杉、西伯利亚落叶松、疣枝桦和欧洲山杨为富蕴林区的优势种，个体数量占总数量的99.99%，稀有种和偶见种占总物种的0.013%，其中西伯利亚落叶松数量最多，重要值最大为63.00%，其次是西伯利亚云杉重要值为16%，柳树数量最少。研究区4个主要树种基本情况见表1。

研究区域样地内主要乔木树种的胸径结构如图1显示，树木径级分布呈倒“U”形。径级16 cm以下的乔木株数很少。随着乔木胸径增大，其总株数呈先增加后减少的趋势，乔木径级主要集中在16~40 cm之间，径级在26~30 cm的数量最多。主要树种的径级分布如图2显示，西伯利亚落叶松和西伯利亚云杉的径级集中在26~30 cm，疣枝桦径级集中在16~20 cm，欧洲山杨的径级集中在11~30 cm。

2.2 富蕴林区不同林龄树木及生境特征

研究区乔木林龄组构成及主要生境特征（包括海拔、土层范围）如表2所示，过熟林（Ⅴ）数量比例达40.82%，面积比例达40.93%，而中龄林的比例仅为3.65%和4.13%，幼龄林仅0.29%和0.34%，表明研究区树木老龄化现象非常严重，林地幼株的更新能力很弱。近熟林（Ⅲ）郁闭度最低，中龄林（Ⅱ）郁闭

表1　研究区森林样地中主要乔木物种基本特征

Tab. 1　Main tree species in forest sample plots in the study area

物种	多度/棵	平均胸径/cm	胸高断面积/cm²	重要值/%
西伯利亚落叶松 *Larix sibirica*	14024	27.40	589.65	63.00
西伯利亚云杉 *Picea obovata*	750	25.02	491.66	15.88
疣枝桦 *Betula pendula*	86	22.08	382.90	10.70
欧洲山杨 *Populus tremus*	66	21.86	375.31	10.37

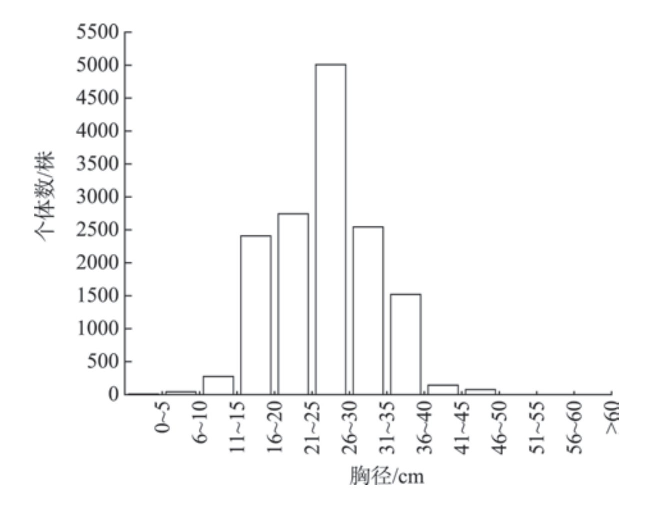


图1　研究区样地内乔木胸径结构分布

Fig. 1　Study on DBH structure of arbor plot

度最高,说明中龄林树冠长势好。

从分布的海拔范围来看,近熟林(Ⅲ)和成熟林(Ⅳ)海拔范围分布最广,涵盖整个林区。幼龄林(Ⅰ)海拔分布范围最窄,在1300 m以下的低海拔区和2400 m以上的高海拔区样地无幼龄林分布。

不同林龄土层厚度较浅,近熟林(Ⅲ)土层厚度在15~61 cm之间,其他均在25~61 cm之间,说明林地土层厚度对树木年龄差异的形成影响不大。

研究区不同乔木树种林龄结构及生境特征如表3所示,西伯利亚云杉的幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林的数量比例是2:14:38.27:28.8:16.93。近熟林(Ⅲ)数量最多,面积最大,说明西伯利亚云杉老龄化现象不明显。不同林龄西伯利亚云杉在海拔1650~2120 m范围内均有分布,幼龄林(Ⅰ)分布最窄,过熟林(Ⅴ)分布最广。西伯利亚云杉的近熟林(Ⅲ)郁闭度最低,幼龄林(Ⅰ)郁闭度最高。西伯利亚云杉分布在北、西北和东北,属阴坡。不同林龄西伯利亚云杉生长在山坡的中部和下部,处于斜坡和陡坡地带。

西伯利亚落叶松各龄组比例为0.24:3.02:26.39:28.42:42.01。幼龄林(Ⅰ)数量和面积所占的比例非常低(不足0.3%),中龄林(Ⅱ)数量和面积所占的比例也很低(6%以下),而过熟林(Ⅴ)数量和面积所占比例均达到42%以上,说明其老龄化非常严重,而且持续更新能力很弱。从郁闭度看,西伯利亚落叶松幼龄林(Ⅰ)郁闭度只有0.56,为整个林区最低。西伯利亚落叶松幼龄林(Ⅰ)最窄,在1520 m以下的较低海拔和2400 m以上的高海拔区样地均未出现。中龄林(Ⅱ)在不同海拔分布情况和幼龄林(Ⅰ)的表现类似。近熟林(Ⅲ)、成熟林(Ⅳ)和过熟林(Ⅴ)分布的海拔范围均很广。西伯利亚落叶松分布在坡向和坡度层面与西伯利亚云杉基本一致。西伯利亚落叶松在山坡的上、中部和下部均有分布,坡度较陡,多在斜坡和陡坡。

疣枝桦近熟林(Ⅲ)在调查样地未出现,疣枝桦成熟林(Ⅳ)数量比例最高(41.18%),过熟林(Ⅴ)面积比例最高(44.86%)。疣枝桦成熟林(Ⅳ)和过熟林(Ⅴ)分布的海拔范围分别在1150~1900 m和1510~1900 m,幼龄林(Ⅰ)分布在海拔1480~1650 m范围内。疣枝桦近熟林(Ⅲ)郁闭度最小,只有18.71,而幼龄林郁闭度达40%。疣枝桦多集中在北、南和东北方向。疣枝桦生长坡位主要是山坡中、下部和山谷地带,在急坡、陡坡和斜坡,缓坡均有分布。

欧洲山杨树的中龄林(Ⅱ)在调查样地中未出现。过熟林(Ⅴ)数量最多,达64.91%。近熟林(Ⅲ)和过熟林(Ⅴ)面积均很大,分别达48.69%和46.79%,说明杨树也出现老龄化现象。成熟林(Ⅳ)杨树郁闭度最高。不同林龄杨树生长海拔在1050~2140 m,其近熟林(Ⅳ)分布范围最广。杨树集中分

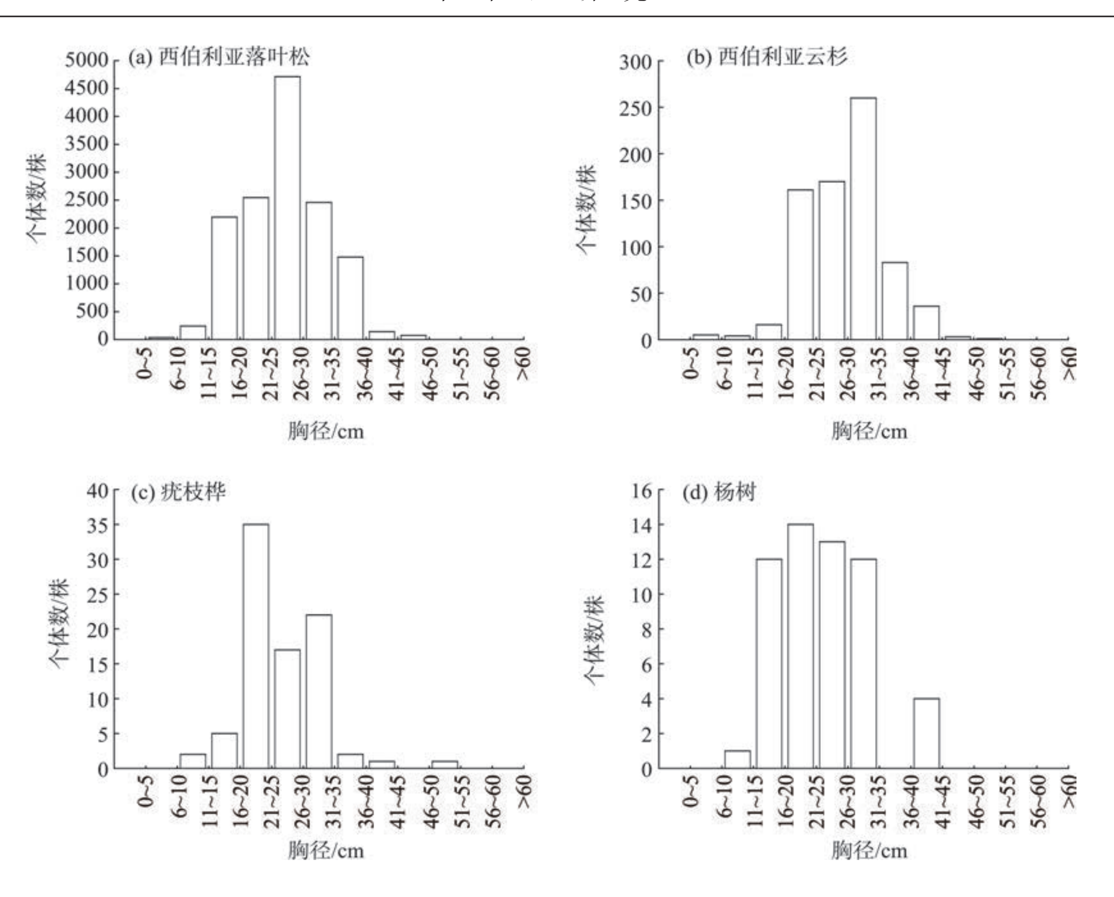


图2 富蕴林场4个主要乔木胸径分布

Fig. 2 DBH distribution of four main trees in Fuyun Forest Farm

表2 研究区森林不同龄组及主要生境特征

Tab. 2 Different age groups and arbor habitats in the study area

龄组	数量比例/%	面积比例/%	郁闭度/%	海拔范围/m	土层厚度范围/cm
幼龄林(Ⅰ)	0.29	0.34	40.93	1320~2400	25~61
中龄林(Ⅱ)	3.65	4.13	50.95	1210~2580	25~61
近熟林(Ⅲ)	27.07	25.69	24.25	1050~3250	15~61
成熟林(Ⅳ)	28.67	28.91	45.24	1150~3250	25~61
过熟林(Ⅴ)	40.82	40.93	43.48	1070~3250	25~61

布在南和东南方向,阳坡生长。杨树主要位于山坡中部和下部,中部为斜坡,下部平坡。

2.3 富蕴林区主要树种空间分布格局

通过方差均值比检验发现:富蕴林区4个主要树种在空间分布格局上均表现为集群分布(表4)。疣枝桦的负二项参数K最小,表明其聚集最分散。西伯利亚云杉和西伯利亚落叶松的负二项参数K最大,说明其聚集度更高,这与实际调查的结果一致。

如表5所示,通过方差均值比验证得出4个树种在幼龄林(Ⅰ)的空间分布格局均属均匀分布。西伯利亚云杉和西伯利亚落叶松在其他4个生长阶段均为集群分布。疣枝桦和杨树在其他4个生长阶段的空间格局均属均匀分布。西伯利亚云杉在成熟林(Ⅳ)的负二项参数K最小,表明其聚集强度变小,即随着年龄的增长,种群聚集度呈现出小-大-小的趋势,丛生指数Ⅰ在近熟林(Ⅲ)阶段后呈减小趋势,说明种群由聚集分布趋向随机分布;西伯利亚落叶松在后4个生长阶段的负二项参数K相差不大,表明其聚集强度相似,随着年龄的增长,丛生指数Ⅰ在增大,表明西伯利亚落叶松的聚集强度稳定;疣枝桦和杨树在整个生长发育阶段,均表现为均匀分布。

表3　研究区不同树种龄组和生境特征

Tab. 3　Age group and habitat characteristics of different tree species in the sample plot

树种	龄组	数量比例/%	面积比例/%	郁闭度	海拔范围/m	坡向	坡位	坡度	土层厚度范围/cm
西伯利亚云杉 *Picea obovata*	Ⅰ	2.00	1.54	53.75	1650~2120	N\NE	C\D	3\4	25~61
	Ⅱ	14.00	11.18	46.19	1220~2360	N\NE\NW	C\D	3\4	25~61
	Ⅲ	38.27	43.64	25.71	1220~2480	N\NE\NW	C\D	3\4	25~61
	Ⅳ	28.80	26.07	43.70	1150~2360	N\NE\NW	C\D	3\4	25~61
	Ⅴ	16.93	17.59	45.39	1340~3100	N\NE\NW	C\D	3\4	25~45
西伯利亚落叶松 *Larix sibirica*	Ⅰ	0.15	0.24	0.56	1520~2400	N\NE\NW	B\C\D	3\4	25~45
	Ⅱ	3.02	5.60	52.58	1300~2580	N\NE\NW	B\C\D	3\4	25~45
	Ⅲ	26.39	24.50	24.21	1051~3250	N\NE\NW	B\C\D	3\4	15~61
	Ⅳ	28.42	29.33	45.33	1230~3250	N\NE\NW	B\C\D	3\4	25~61
	Ⅴ	42.01	42.34	43.64	1150~3250	N\NE\NW	B\C\D	3\4	25~61
疣枝桦 *Betula pendula*	Ⅰ	2.35	1.24	40.00	1480~1650	NE\S	C	5	25~45
	Ⅱ	18.82	26.77	38.75	1210~1740	N\NE\NW\S	D\C	5\3\4	25~45
	Ⅳ	41.18	27.13	18.71	1150~1900	N\S\NE\NW	D\C\E	3\5\2\	25~45
	Ⅴ	37.65	44.86	31.25	1210~1900	N\NE\NW\S	D\C\E	5\4\2	25~45
欧洲山杨树 *Populus tremula*	Ⅰ	3.51	1.20	25.00	1740~2100	S	C\D	1\3	25~45
	Ⅲ	28.07	48.63	20.00	1050~2140	S\SE	D\C\B	1\3	25~45
	Ⅳ	3.51	3.39	50.00	1220~1610	SE	D\C\B	1	25~45
	Ⅴ	64.91	46.79	25.68	1070~2000	S	C\D\B	3\1	25~45

表4　主要树种空间分布格局检验

Tab. 4　Spatial distribution pattern of dominant tree species

树种	方差均值比检验	分布类型	聚集强度			
	V/*m*		*I*	*K*	*I*	*K*
西伯利亚云杉 *Picea obovata*	15.2700	C	14.2700		0.0026	
西伯利亚落叶松 *Larix sibirica*	371.8900	C	370.8900		0.0024	
疣枝桦 *Betula pendula*	6.6200	C	5.6200		0.0006	
杨树 *Populus tremula*	4.8400	C	3.8400		0.0007	

注:C表示集群分布。

3　讨 论

3.1　树种分布与生境特征的关系

阿尔泰山是横亘在新疆北部绵延数百公里的高大山系,整个山系走向为西北-东南倾斜,受北部西伯利亚寒冷气候影响,发育了以寒温型西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉为主体的森林植被群落。其中,西伯利亚落叶松在阿尔泰山是分布较广的林型,且为绝对优势种,占到整个阿尔泰山林区株数的70%。而且,新疆阿尔泰山位于整个阿尔泰山的南坡、准噶尔盆地的北缘,该区域森林植被发育除了直接受到来自准噶尔盆地干热气流的影响外,还受到准噶尔盆地外部西北、西部和东南部3个水平方向通过低谷开口地涌入的不同陆面气候的交叉影响。来自西伯利亚大平原的冷湿气流涌入额尔齐斯河河谷,来自中亚哈萨克斯坦的气流通过塔城盆地与沙吾尔山间低谷进入额尔齐斯河谷和乌伦古河平原谷地,还有来自蒙古国的气流通过阿尔泰山东部低地进入乌伦古河平原谷地,三股气流交叉[32-33]。

表5 不同树种在不同龄组空间分布格局检验

Tab. 5 Spatial distribution pattern of different tree species in different age groups

树种	龄组	方差均值比检验	分布类型	聚集强度	
		V/m		I	K
西伯利亚云杉 *Picea obovata*	Ⅰ	0.2000	U	−0.8000	−0.0030
	Ⅱ	2.0700	C	1.0700	0.0600
	Ⅲ	4.4100	C	3.4100	0.0700
	Ⅳ	3.6600	C	2.6600	0.0550
	Ⅴ	1.8600	C	0.8600	0.0850
西伯利亚落叶松 *Larix sibirica*	Ⅰ	0.3000	U	−0.7000	−0.0004
	Ⅱ	8.2200	C	7.2200	0.0023
	Ⅲ	92.4800	C	91.4800	0.0025
	Ⅳ	94.9800	C	93.9800	0.0025
	Ⅴ	152.1400	C	151.1400	0.0025
疣枝桦 *Betula pendula*	Ⅰ	0.0200	U	−0.9800	−0.0005
	Ⅱ	0.1800	U	−0.8200	−0.0340
	Ⅲ	0.3900	U	−0.6100	−0.1810
	Ⅳ	–	–	–	–
	Ⅴ	0.3400	U	−0.6600	−0.1320
杨树 *Populus tremula*	Ⅰ	0.0400	U	−0.9600	−0.0030
	Ⅱ	–	–	–	–
	Ⅲ	0.1900	U	−0.8100	−0.0440
	Ⅳ	0.0300	U	−0.9700	−0.0020
	Ⅴ	0.4000	U	−0.6000	−0.3440

注:C表示集群分布;U表示均匀分布。

全年受到湿润的西风气流和西南的湿冷气流的影响,带来了丰沛的山地雨雪,造就了阿尔泰山湿润的气候进而影响到阿尔泰山植被的发育[34]。受山体地形构造影响,西部山体高大宽厚,受北方西伯利亚气候影响较深,寒冷湿润,森林种类相对较丰富。西伯利亚红松(*Pinus sibirica*)和西伯利亚冷杉(*Abies sibirica*)等树种有一定数量的分布。东部干旱明显,树种逐渐向单一的落叶松方向发展。研究区域富蕴林区位于阿尔泰山东部,山体变窄总体高度降低,较多地受准噶尔盆地和蒙古暖干气流的影响,而寒温型针叶树西伯利亚红松和西伯利亚冷杉喜生于寒冷、湿润的亚高山带下部或中山带上部阴坡或中山带中、下部[35-36],由于海拔下降,大气湿度降低,逐渐被较耐干旱的西伯利亚落叶松所代替,目前已无分布。阔叶树种疣枝桦和欧洲山杨树在中山带及部分中高山带开始出现。本研究表明,西伯利亚落叶松在海拔1300~3250 m范围内分布最大,说明西伯利亚落叶松可分布在比较高的海拔区。西伯利亚云杉分布在1150~3100 m的海拔范围,说明了西伯利亚云杉适应的海拔范围也较广。阔叶树种欧洲山杨树在海拔1050~2140 m范围内所占比例比较大,说明阔叶树种本地在较高海拔地带也有分布。疣枝桦的分布海拔在1150~1900 m范围,说明了疣枝桦的海拔分布范围低于欧洲山杨。

靠近人类活动区的幼龄落叶松分布很少,是因为人类放牧干扰导致幼苗被大量采食损失,幼苗更新少。高海拔区幼龄林落叶松分布也非常少,可能是因为气候变化。

坡向是影响主要乔木分布的一个重要因素。寒温型西伯利亚落叶松、云杉主要分布在北、西北和东北坡向,主要是受北方气候影响所致,这也与它们喜阴喜凉的生存环境相符合[37]。富蕴林区的山以东西向为主,欧洲山杨树属于阳性树种,分布于平缓地带,主要分布坡向是南北坡的坡底位置[38]。疣枝桦适应能力强[39],是喜光树种,不耐庇荫,对土壤的要求不高,在干旱瘠薄的土壤上也能生长,因此在本区域35°~45°坡度大、土层薄、水分少的地方也能集中分布[40-42]。

3.2 森林径级、龄组变化和竞争扩散关系

研究区样地内所有乔木个体的径级结构近似倒"U"形,西伯利亚落叶松径级结构小于20 cm的个体数量很少,这与王庆海等[43]在研究兴安落叶松人工林林分直径时得出的中小径阶树木的株数比中径阶的树木明显要少的结论相一致,产生这种现象的原因是人类干扰和环境影响,以及病虫害的影响[44]。云杉的径级结构在20~30 cm,与胡中洋等[45]在研究天山云杉得出的不同尺度林分平均胸径变化范围为42.53~45.21 cm有所差异,原因在于天山云杉林成熟木较多,没有幼树幼苗。

西伯利亚落叶松分布幅度广,群落中的总株数和面积占比均很高,表明其竞争力很强,种群发展早期的扩散能力很强。但幼株落叶松郁闭度较低,说明幼株在群落中的竞争力较弱小。根据龄组划分,西伯利亚落叶松幼龄林(40 a以下)数量很少(不足0.3%),中龄林(40~80 a)株数也只有3.65%,而过熟林占到40%以上,说明近几十年来种群更新能力弱,西伯利亚落叶松林种群向成熟林方向发展,形成不稳定、偏离顶级群落的结构,自然状态下是不稳定的。从落叶松种子的繁殖角度来看,参考我国东北长白落叶松的特点可知[20]:长白落叶松一般在30 a时(径级12~14 cm)才有个别林木开始结实,60 a时结实林木显著增加,80 a(径级30 cm),80~140 a达到最佳结实年龄。140 a(径级54 cm)后进入衰退期。兴安落叶松林的天然更新期约为30 a左右,一般最长不过80 a[46]。可见不同的落叶松种类的繁殖特点也有很大的不同。目前,西伯利亚落叶松的种子繁殖方面的研究较缺乏。据报道阿尔泰山西部的喀纳斯北部和南部最大树龄在321~388 a,在沙勒哈树龄最长达555 a[47]。这些古老树的存在也严重影响了种群的更新,老龄林的存在是受多方面因素干扰而形成的。虽然,近40 a来人类剧增的放牧及伐木等干扰对林木的幼苗存活造成很大的影响,即对幼龄林存活产生了极大的影响,但从中龄林的很低的占比来看,种群分布的严重不对称由来已久。气候变化也会对森林种群和群落结构形成产生重大影响,进而影响到种群的龄组结构和种间竞争关系。目前,课题组关于落叶松龄组变化呈现的原因从几个方面进行研究,如水分、过牧、化感、人为干扰、病虫害、枯枝落叶阻隔等均做了相关研究,结论是西伯利亚落叶松龄组变化是多因素共同作用的结果。

3.3 种群空间分布格局及更新

从林木整体来看,4个树种均为聚集分布,这也是森林植物种群最普遍的分布样式,是林木生长、存活以及竞争等的适宜微环境条件分异的自然结果。李先琨等[48]对西伯利亚落叶松林的空间格局研究表明,西伯利亚落叶松在空间上主要呈集聚分布,与本文研究一致。西伯利亚云杉在后4个阶段均为集群分布,与以往研究西伯利亚云杉种群幼树主要呈聚集分布,随着林龄增加趋向随机分布[49-50]不同。从本文调查数据显示,西伯利亚云杉虽是本区域优势种,但重要值仅为15.88%,不足西伯利亚落叶松61%的四分之一,其存活竞争力强。而空间分布呈聚集分布的种群,可以使种群具备一定环境竞争优势,使个体的存活机会得以提高,从而可更好地发挥出群体效应来维持自身的稳定状态[48,51-52]。因此,西伯利亚云杉种群的聚集分布格局在本研究区或许有利于其种群生长,为西伯利亚云杉群落处于稳定且具有竞争力提供基础。

从各年龄段来看,4个树种在幼龄林阶段均属于均匀分布,是由于在种群幼龄阶段受到强烈的人类干扰(如放牧等),使得幼苗萌生和成长受到严重干扰,导致幼龄种群分布模式呈现出与群落中原有成熟繁殖种群的聚集分布不一致的非聚集分布。而且,由于种群老化严重,老化的群体会产生一定的他感效应也导致个体更新过程受阻,即新个体的聚集程度降低。研究区4种天然幼树林均呈现均匀分布,表现出了幼龄树对各种生境环境和强度干扰的适应性平衡的结果,另一方面全球的气候变化,如局域水热环境变化也不利于小个体的生存,导致种群聚集程度会随之降低[53-54]。

疣枝桦和欧洲山杨树在各个年龄阶段的空间分布格局均属于均匀分布,与整体的分布格局不同。这一方面可能与样本数量少有关,另一方面可能是各龄组阔叶树种疣枝桦和欧洲山杨树为了争夺阳光、土壤水分和养分等在自然状态下呈均匀分布。但所有年龄组总体上仍然呈现聚集分布,与大多数森林种类空间布局模式相同。

4 结 论

通过对新疆阿尔泰山东部林区的树种组成和优势种径级结构、不同龄林的生境特征及空间分布

格局的分析,得出以下结论:

(1) 阿尔泰山东部林区森林种类较少,西伯利亚云杉、西伯利亚落叶松、疣枝桦和欧洲山杨为富蕴林区的优势种,个体数量占总数量的99.99%,稀有种和偶见种占总物种的0.013%;主要成分为西伯利亚落叶松,重要值60%以上,其次为西伯利亚云杉,重要值约为15%;疣枝桦和欧洲山杨重要值均为约10%。

(2) 样地内各类树木胸径呈倒"U"形,径级在26~30 cm的林木数量最多。疣枝桦径级集中在16~20 cm,欧洲山杨径级在11~30 cm范围均有分布。优势种的径级结构与所有乔木的径级结构相似,近似于倒"U"形,以中径级个体居多。

(3) 从物种分布与环境因子的关系来看,在海拔1300 m以下和2400 m以上区域幼龄林分布少,其中老龄化最严重的是西伯利亚落叶松;从土层厚度来看,与林龄的关系不明显,从坡向看不同树种林龄差异明显。

(4) 阿尔泰山东部林区优势树种的空间分布格局均为集群分布,按照龄组划分,其幼龄林均为均匀分布。其中,西伯利亚落叶松种群为下降型种群,并处于不稳定状态,在空间分布上呈聚集分布,西伯利亚云杉和西北利亚落叶松中龄林、近熟、成熟和过熟后呈现集群分布。

致谢:此次野外实验数据的获取得到了阿尔泰山国有林管理局、富蕴县国有林管理局的大力配合,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

[1] 蒋雪琴, 刘艳红, 赵本元. 湖北神农架地区巴山冷杉(*Abies fargesii*)种群结构特征与空间分布格局[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2211-2218. [Jiang Xueqin, Liu Yanhong, Zhao Benyuan. Structure characteristics and spatial distribution of *Abies fargesii* population in Shennongjia National Nature Reserve, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2211-2218.]

[2] 李宗英, 罗庆辉, 许仲林. 西天山雪岭云杉林分密度对森林生物量分配格局和异速生长的影响[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 545-552. [Li Zongying, Luo Qinghui, Xu Zhonglin. Effects of stand density on the biomass allocation and tree height-diameter allometric growth of *Picea schrenkiana* forest on the northern slope of the western Tianshan Mountains[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 545-552.]

[3] 胡秀娟, 程积民, 杨晓梅, 等. 黄土高原子午岭林区辽东栎种群分布格局及群落特征研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 1-6. [Hu Xiujuan, Cheng Jimin, Yang Xiaomei, et al. Spatial distribution pattern and the community characteristic of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwuling Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 1-6.]

[4] 熊嘉武. 新疆阿尔泰山山地综合科学考察[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019. [Xiong Jiawu. Scientific Expedition to Altai Mountains[M]. Beijing: China Forestry Press, 2019.]

[5] 张绘芳, 朱雅丽, 地力夏提·包尔汉, 等. 阿尔泰山林区云杉和落叶松生物量分配格局研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 203-208. [Zhang Huifang, Zhu Yali, Dilixiati Baoerhan, et al. Biomass allocation patterns of *Picea obovata* and *Larix sibirica* in the Altai mountains forest area[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Science Edition), 2017, 41(1): 203-208.]

[6] 宋奇, 史舟, 冯春晖, 等. 基于1990—2019年多时相影像的干旱区绿洲景观格局分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 594-604. [Song Qi, Shi Zhou, Feng Chunhui, et al. Analysis of oasis landscape patterns in arid zones based on multi-temporal images from 1990-2019[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 594-604.]

[7] 史彦江, 陈同森, 卡德尔, 等. 富蕴林区新疆落叶松造林种源选择技术研究[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(2): 19-23. [Shi Yanjiang, Chen Tongsen, Ka Deer, et al. A study on selection technique of provenance of *Larix sibirica* for the afforestation in Fuyun forest region[J]. Journal of Northwestern Forestry University, 2000, 15(2): 19-23.]

[8] 张毓涛, 胡莎莎, 李吉玫, 等. 新疆3种主要森林类型根系生物量变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2013, 36(2): 269-276. [Zhang Yutao, Hu Shasha, Li Jimei, et al. Characteristic of root biomass of three main forest types in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(2): 269-276.]

[9] 罗磊, 王蕾, 刘平, 等. 阿尔泰山落叶松林碳储量与生产力时空特征及其气候成因分析[J]. 生态学报, 2019, 39(22): 8575-8584. [Luo Lei, Wang Lei, Liu Ping, et al. Spatio-temporal analysis of carbon sequestration and NPP in *Larix* forest in the Altay Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(22): 8575-8584.]

[10] 王君杰, 夏宛琦, 姜立春. 基于分位数回归和哑变量模型的大兴安岭兴安落叶松树高-胸径模型[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(9): 24-32. [Wang Junjie, Xia Wanqi, Jiang Lichun. Height-diameter model of *Larix gmelinii* in Daxing'an Mountains based on quantile regression and dummy variable model[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2020, 40(9): 24-32.]

[11] 王亚蕊, 刘泽彬, 王彦辉, 等. 六盘山半湿润区华北落叶松树干半径变化特征及影响因素[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3313-3321. [Wang Yarui, Liu Zebin, Wang Yanhui, et al. Variation of stem radius of *Larix principis-rupprechtii* and its influencing factors in the semi-humid Liupan Mountains, China[J]. Chinese

Journal of Applied Ecology, 2020, 31(10): 3313-3321.]

[12] 武秀娟, 奥小平. 芦芽山阴坡华北落叶松-云杉天然次生林林下灌草生态位特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(7): 99-106. [Wu Xiujuan, Ao Xiaoping. Niche characteristics of shrub and herb species within *Larix principis-rupprechtii-Picea* spp. secondary forests on north slope of Luyashan[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2020, 40(7): 99-106.]

[13] 赵祜, 吕东, 刘贤德, 等. 基于球果和种子的青海云杉无性系表型性状多样性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(11): 39-46. [Zhao Hu, Lv Dong, Liu Xiande, et al. Phenotypic diversity of *Picea crassifolia* clones based on cones and seeds[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2020, 40(11): 39-46.]

[14] 胡中岳, 刘萍. 西天山国家级自然保护区天山云杉林分结构与物种多样性[J]. 林业资源管理, 2017, 6(6): 67-83. [Hu Zhongyue, Liu Ping. Stand structure and species diversity of *Picea schrenkiana* var. *Tianschanica* in western Tianshan national nature reserve[J]. Forest Resource Management, 2017, 6(6): 67-83.]

[15] 刘贵峰, 刘玉平, 郭仲军, 等. 天山云杉林生物量及其变化规律的研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 13-17. [Liu Guifeng, Liu Yuping, Guo Zhongjun, et al. Study of biomass of *Picea schrenkiana* var. *Tianschanica* and its variation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 13-17.]

[16] 周娟, 陈丽华, 郭文体, 等. 大辽河流域天然杨桦林空间结构分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 77-83. [Zou Juan, Chen Lihua, Guo Wenti, et al. Spatial structural characteristics of natural *Populus davidiana-Betula platyphylla* forest in the great Liaohe river basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(6): 77-83.]

[17] 黄龙生, 李永宁, 冯楷斌, 等. 冀北山地杨桦次生林林分空间结构研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(1): 50-55. [Huang Longsheng, Li Yongning, Feng Kaibin, et al. Studies on structure characteristics of secondary poplar-birch forest in mountainous regions of north Hebei Province[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2015, 35(1): 50-55.]

[18] 刘凤芹, 曹云生, 杨新兵, 等. 冀北山区华北落叶松桦木混交林空间结构分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 32-38. [Liu Fengqin, Cao Yunsheng, Yang Xinbing, et al. Spatial structure and point pattern analysis of *Larix Principis-rupprechtii mayr* and *Betula* spp. mixed forest in northern Hebei mountain[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition), 2011, 32(3): 32-38.]

[19] 刘志龙, 谌红辉, 贾宏炎, 等. 广西望天树优树选择标准和方法研究[J]. 林业实用技术, 2014(9): 13-16. [Liu Zhilong, Zhan Honghui, Jia Hongyan, et al. Study on the selection criteria and methods of superior trees of Guangxi Wangtian trees[J]. Parctical Forestry Technology, 2014(9): 13-16.]

[20] 胡云云, 亢新刚, 赵俊卉. 长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系[J]. 东北林业大学学报, 2009(11): 38-42. [Hu Yunyun, Kang Xingang, Zhao Junhui. Variable relationship between tree age and diameter at breast height for natural forests in Changbaishan mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009(11): 38-42.]

[21] 马武, 雷相东, 徐光, 等. 蒙古栎天然林单木生长模型的研究——Ⅱ.树高-胸径模型[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 83-90. [Ma Wu, Lei Xiangdong, Xu Guang, et al. Growth model for indididual-tree in natural *Quercus mongolica* forests: Ⅱ. Height-diameter model[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2015, 43(3): 83-90.]

[22] 石仁娜·加汗, 张同文, 喻树龙, 等. 天山不同海拔雪岭云杉径向生长对气候变化的响应[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 545-552. [Shirenna Jiahan, Zhang Tongwen, Yu Shulong, et al. *Picea schrenkiana* response to climate change at different altitudes in Tianshan Mountains[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 545-552.]

[23] Zhang J T. Fuzzy set ordination and its application[J]. Acta Ecologica Sinica, 1992, 12(4): 325-331.

[24] Jackson S M, Fredericksen T S, Malcolm J R. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest[J]. Forest Ecology & Management, 2002, 166(1-3): 271-283.

[25] Naghdi R, Rafatnia N, Bagheri I, et al. Evaluation of residual damage in felling gaps and extraction routes in single selection method (Siyahkal forest)[J]. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 2008, 16(1): 97-87.

[26] 温秀萍. 土地利用更新调查中坡度分级数据库建设方法研究[J]. 中国土地科学, 2007(2): 44-50. [Wen Xiuping. Study on method of slope reclassification database construction in investigation of land use update[J]. China Land Science, 2007(2): 44-50.]

[27] 汤国安, 宋佳. 基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 157-160. [Tang Guo'an, Song Jia. Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEMs[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 157-160.]

[28] 赵鸿燕, 魏也纳, 戴立乾. 第二次土地调查县级坡度分级图生成关键技术研究[J]. 测绘工程, 2011, 20(4): 77-80. [Zhao Hongyan, Wei Yena, Dai Liqian. Research on key technologies in county level slope grade map representation for the secondary land resource survey[J]. Engineering of Surverying and Mapping, 2011, 20(4): 77-80.]

[29] Zhou Q, Liu X. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties[J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(4): 369-378.

[30] 王燕. 山西太岳山南部针阔叶混交林优势树种空间分布格局及关联性研究[D]. 太原: 山西师范大学, 2017. [Wang Yan. Spatial Distribution Patterns and Association of Dominant Trees Species in Coniferous and Broad- leaved Mixed Forest in South Taiyue Mountain in Shanxi Province[D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2017.]

[31] Li J, Xu H, Zhang Q, et al. Population structure and spatial distribution pattern of *Populus euphratica* in degradation regions of desert riparian forest[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(5): 897–904.

[32] 庄晓翠, 赵江伟, 李健丽, 等. 新疆阿勒泰地区短时强降水流型及环境参数特征[J]. 高原气象, 2018, 37(3): 675–685. [Zhuang Xiaocui, Zhao Jiangwei, Li Jianli, et al. Characteristics of short-time heavy precipitation weather flow and environmental parameter of Altay region in Xinjiang[J]. Plateau Meteorology, 2018, 37(3): 675–685.]

[33] 王童犇, 朱岑, 侯晓巍, 等. 祁连圆柏群落特征沿年降水量梯度的变化格局[J]. 干旱区研究, 2021, 38(6): 1695–1703. [Wang Tongben, Zhu Cen, Hou Xiaowei, et al. Community characteristics of *Juniperus przewalskii* along annual precipitation gradients[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(6): 1695–1703.]

[34] 周鹏, 黄建国, 梁寒雪, 等. 不同海拔温度和降水对新疆阿尔泰山西伯利亚落叶松径向生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(6): 623–632. [Zhou Peng, Huang Jianguo, Liang Hanxue, et al. Effect of temperature and precipitation on radial growth of *Larix sibirica* along altitudinal gradient on Altay mountains, Xinjiang, China[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2019, 27(6): 623–632.]

[35] Shah S. 西伯利亚红松生长与气候的关系及在中国东北地区的潜在分布[D]. 北京: 北京林业大学, 2019. [Shah S. The Growth-Climate Relationships and Potential Distribution of Siberian Pine (*Pinus sibirica*) in Northeast China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.]

[36] 杨琪, 李书恒, 李家豪, 等. 秦岭森林植被物候及其对气象因子的响应[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1065–1074. [Yang Qi, Li Shuheng, Li Jiahao, et al. Phenology of forest vegetation and its response to climate change in the Qinling Mountains[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1065–1074.]

[37] 彭剑峰, 勾晓华, 陈发虎, 等.天山云杉和西伯利亚落叶松的树轮气候记录[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 460–465. [Peng Jianfeng, Gou Xiaohua, Chen Fahu, et al. Climatic records of tree-ring width in *Picea schrenkiana* Fisch and *Larix sibirica* Ledb[J]. Ecological Environment, 2005, 14(4): 460–465.]

[38] 张绘芳, 地力夏提·包尔汉, 朱雅丽, 等. 新疆疣枝桦与欧洲山杨生物量分配与异速生长模型分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 33–38. [Zhang Huifang, Dilixiati Baoerhan, Zhu Yali, et al. Biomass allocation patterns and allometric models of *Betula pendula* and *Populus tremulain* in Xinjiang[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(5): 33–38.]

[39] 周增光. 疣枝桦大苗移植与养护技术[J]. 农村科技, 2018(6): 60–62. [Zhou Zengguang. Transplanting and maintenance techniques for large warty birch seedlings[J]. Rural Science and Technology, 2018(6): 60–62.]

[40] 刘芳. 桦树新秀——疣枝桦[J]. 新疆农垦科技, 2008(3): 49–50. [Liu Fang. Birch newcomer-*Betula pendula*[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2008(3): 49–50.]

[41] 权俊萍, 韩文衡, 何利群, 等. 阿勒泰山林缘疣枝桦种群年龄结构及动态分析[C]//中国植物园第十八期, 2015: 79–86. [Quan Junping, Han Wenheng, He Liqun, et al. The age structure and dynamic analysis of the *Betula pendula* population in the Altay mountain forest edge[C]//Chinese Botanical Garden XVIII, 2015: 79–86.]

[42] 马瑞, 赵锦梅. 东祁连山河谷高寒草地植被群落特征及其与土壤性状的关系[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 374–381. [Ma Rui, Zhao Jinmei. Relationship between the grassland and soil conditions in the eastern Qilian mountains[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 374–381.]

[43] 王庆海, 格日乐高娃, 乌云珠拉, 等. 兴安落叶松人工林林分直径与树高分布[J]. 内蒙古科技与经济, 2018, 14(6): 32–35. [Wang Qinghai, Ge Rilegaowa, Wu Yunzhula, et al. Distribution of stand diameter and tree height of *Larix gmelinii* plantation[J]. Inner Mongolia Science and Technology and Economy, 2018, 14(6): 32–35.]

[44] 王因花, 刘翠兰, 孔雨光, 等. 不同育苗基质处理对日本落叶松出苗及幼苗生长的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(6): 68–70. [Wang Yinhua, Liu Cuilan, Kong Yuguang, et al. Effects of different nursery substrate treatments on emergence and seedling growth of *Larix kaempferi*[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(6): 68–70.]

[45] 胡中洋, 刘锐之, 刘萍. 不同尺度天山云杉活立木空间结构分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(2): 153–159. [Hu Zhongyang, Liu Ruizhi, Liu Ping. Spatial structure on *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* standing tree at different scales[J]. Journal of Northwestern Forestry University, 2020, 35(2): 153–159.]

[46] 玉宝, 乌吉斯古楞, 王百田, 等. 兴安落叶松天然林不同林分结构林木水平分布格局特征研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(1): 83–88. [Yu Bao, Wu Jisiguleng, Wang Baitian, et al. Study on distribution pattern characteristics of different stand structures in *Larix gmelinii* natural forest[J]. Forest Research, 2010, 23(1): 83–88.]

[47] Suo Q S. Studies on the fruiting rule in natural stand of *Larix olgensis* henry in Zhanbei Mountain Range[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1982, 18(4): 347–356.

[48] 李先琨, 苏宗明, 向悟生, 等. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2246–2253. [Li Xiankun, Su Zongming, Xiang Wusheng, et al. Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2246–2253.]

[49] 马俊逸, 赵成章, 苟芳珍, 等. 盐沼湿地植物的群落分类及其空间分布格局对土壤水盐的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1001–1008. [Ma Junyi, Zhao Chengzhang, Gou Fangzhen, et al. Response of the spatial distribution and community types of wetland plants to soil moisture and salinity in a salt marsh[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1001–1008.]

[50] 张同文, 魏文寿, 袁玉江, 等. 阿勒泰西部树轮年表特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 1040−1047. [Zhang Tongwen, Wei Wenshou, Yuan Yujiang, et al. Analysis of the tree-ring chronological characteristics in the west of Altay[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 1040−1047.]

[51] 冯宜明, 曹秀文, 刘锦乾, 等. 抚育对粗枝云杉人工林生长和空间结构的影响[J]. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2110−2123. [Feng Yiming, Cao Xiuwen, Liu Jinqian, et al. Effects of tending on stand growth and spatial structure in *Picea asperata* plantation [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(12): 2110−2123.]

[52] 赵欣鑫, 巨天珍, 杨斌, 等. 小陇山国家级自然保护区云杉种群结构和空间分布格局分析[J]. 山地学报, 2017, 35(4): 444−450. [Zhao Xinxin, Ju Tianzhen, Yang Bin, et al. Analyses on structure characteristics and spatial distribution pattern of *Picea asperata* mast population in Xiaolongshan nature reserve[J]. Mountain Reserch, 2017, 35(4): 444−450.]

[53] 杨雪峰, 叶茂, 木尼热·买买提. 基于WorldView-2高分影像的胡杨林结构参数获取研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(6): 1159−1667. [Yang Xuefeng, Ye Mao, Munire Maimaiti. Structural parameter acquisition of *Populus euphratica* by World View-2 remote sensing image[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(6): 1159−1667.]

[54] 程平. 新疆喀纳斯国家地质公园森林群落类型及其与环境因子之间的关系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009. [Cheng Ping. Study on the Relationship between Forest Communities and Their Environmental Factors in Kanas National Geopark, Xinjiang [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009.]

Forestry structure and spatial distribution pattern of different age tree species in forest area of eastern Altai Mountain

XU Qiao[1,2], ZHAO Wanyu[2], WEI Yan[1], YE Mao[3], ZHAO Xinfeng[2]

(1. College of Grassland Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830054, Xinjiang, China)

Abstract: To clarify the spatial distribution pattern of trees in the Fuyun forest area of the Altai Mountain and provide a reference for biodiversity protection and forest management in this area, the tree species composition, tree diameter class structure, habitat characteristics of different tree species in different age forests, and spatial distribution pattern of dominant species in the Fuyun forest region of the Altai mountain were analyzed. The results showed that: (1) *Picea obovata*, *Larix sibirica*, *Betula pendula*, and *Populus tremula* were the dominant species in the Fuyun forest region, the individual number accounted for 99.99% of the total number, rare species accounted for 0.013% of the total species. (2) The diameter class structure of the dominant species was similar to that of all trees, which was similar to the inverted “U” shape, with medium diameter class individuals in the majority. (3) From the relationship between species distribution and environmental factors, altitude and slope direction have great influence, but the relationship with soil thickness is not obvious. (4) The spatial distribution pattern of the four tree species is cluster distribution, and according to the age groups, their young forests are evenly distributed. The spatial distribution pattern of trees is the result of long-term adaptation between the plant species and its environment，and it can be signals, such as the forest dynamics, plant revival, and expansion of different tree species, and the relationship between trees as well as the environments.

Keywords: *Picea obovata*; *Larix sibirica*; diameter class structure; spatial distribution pattern; habitat characteristics; Altai Mountain